温度对沙蒿金叶甲生长发育和繁殖的影响

魏淑花[1]，朱猛蒙[1]，张 蓉[1,*]，黄文广[2]，于 钊[2]
（1. 宁夏农林科学院植物保护研究所，银川 750002；2. 宁夏草原工作站，银川 750002）

摘要：为了明确温度对沙蒿金叶甲 *Chrysolina aeruginosa* Faldermann 生长发育和繁殖的影响，本实验在恒温条件(13，18，23，28 和 33℃)下，以白沙蒿 *Artemisia sphaerocephala* Krasch 为寄主植物，研究了温度对沙蒿金叶甲实验种群生长发育和繁殖的影响。结果表明：温度对沙蒿金叶甲各虫态的发育历期、存活率以及种群繁殖力有显著影响。在 13～28℃范围内，各虫态的发育历期均随温度的升高而缩短，发育速率与温度呈显著正相关。但是，当温度上升至33℃时，幼虫和蛹生长发育受到抑制，其幼虫发育历期与18℃，23℃和28℃下相比延长并达到了显著差异水平($P<0.05$)，成虫不能羽化出土；低温影响沙蒿金叶甲卵的存活率，高温影响其蛹的存活率，说明温度过高或过低均不利于沙蒿金叶甲的生长发育。成虫产卵量随环境温度变化的大小顺序为 28℃ >23℃ >18℃ >13℃，并存在极显著差异($P<0.01$)。由直接最优法计算得到沙蒿金叶甲卵期、1－3 龄幼虫期、4 龄幼虫＋蛹期的发育起点温度分别为9.72℃，7.11℃和 8.77℃，有效积温依次为 115.36，441.91 和 448.40 日·度。研究结果为沙蒿金叶甲发生期的预测预报提供了基础参考数据，对指导生产实践有实际的应用意义。

关键词：沙蒿金叶甲；发育历期；存活率；繁殖；发育起点温度；有效积温
中图分类号：Q965 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2013)09-1004-06

Effects of temperature on the development and reproduction of *Chrysolina aeruginosa* (Coleoptera: Chrysomelidae)

WEI Shu-Hua[1], ZHU Meng-Meng[1], ZHANG Rong[1,*], HUANG Wen-Guang[2], YU Zhao[2] (1. Institute of Plant Protection, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China; 2. Grassland Workstation of Ningxia, Yinchuan 750002, China)

Abstract: To illustrate the influences of temperature on the development and reproduction of *Chrysolina aeruginosa* Faldermann, the development and fecundity of *C. aeruginosa* at five temperatures (13, 18, 23, 28 and 33℃) were investigated, with *Artemisia sphaerocephala* served as food. The results showed that temperature had significant effects on the developmental duration, survival rate and reproduction of *C. aeruginosa*. The developmental duration of every stage reduced with increasing temperatures from 13 to 28℃, and there was a positive relationship between developmental rate and temperature. Further increase of temperature to 33℃, however, was unfavorable to its larval and pupal development. The larval duration at 33℃ was significantly longer ($P<0.05$) than that at 18℃, 23℃ and 28℃, and the adult could not emerge from soil. Low temperature affected the survival rate of eggs while high temperature affected the pupal survival rate, suggesting that excessively low or high temperature was unfavorable to its survival. The oviposition amount of *C. aeruginosa* at different temperatures was significantly different ($P<0.01$) and varied in the order of 28℃ >23℃ >18℃ >13℃. Based on the direct optimal method, the developmental threshold temperatures for egg, 1st to 3rd instar larva, and 4th instar larva plus pupa were 9.72, 7.11, and 8.77℃, respectively, and the corresponding effective accumulated temperatures were 115.36, 441.91, and 448.40 degree-days, respectively. The results provide the basis for forecasting the occurrence of *C. aeruginosa* and are applicable in agricultural practices.

Key words: *Chrysolina aeruginosa*; developmental duration; survival rate; reproduction; developmental threshold temperature; effective accumulated temperature

---

基金项目：国家公益性行业(农业)科研专项项目(201003079)；国家牧草产业技术体系盐池综合试验站(CARS-35-42)
作者简介：魏淑花，女，1980 年生，宁夏同心县人，硕士，助理研究员，主要从事农业昆虫与害虫防治研究，E-mail：weishuhua666@163.com
* 通讯作者 Corresponding author，E-mail：yczhrnx@163.com
收稿日期 Received：2013-04-03；接受日期 Accepted：2013-07-16

白沙蒿 *Artemisia sphaerocephala* Krasch 是我国西北干旱荒漠区流动和半固定沙地上常见的一种牧草植物，主要分布于内蒙古、陕西、宁夏、甘肃、新疆等省区。其根系粗大、深长，不仅具有耐旱、耐贫瘠、耐沙埋的特性，而且具有抗风蚀、兼性克隆繁殖的特点，对荒漠生态系统的恢复与重建以及沙地景观的稳定性、沙地土壤肥力和土地生产力的提高都起着重大作用(无名氏，1983；王庆锁，1992)，是我国北方荒漠生态系统中的固沙先锋植物(刘媖心，1992)。

沙蒿金叶甲 *Chrysolina aeruginosa* Faldermann 因适宜的生态条件而逐年暴发成灾，为害十分严重。该虫隶属于鞘翅目，叶甲总科，叶甲科，幼虫共计4 龄。1 和2 龄幼虫取食叶片一侧，造成断叶、缺刻，3 和4 龄取食全叶、且食量很大，单株沙蒿幼虫数量达80 头以上时即可吃光叶片，造成整株枯死(田畴等，1987；张治科等，2007)。而目前有关该害虫的研究主要集中于其生物学特性、化学防治及田间种群动态等方面(田畴等，1987；张治科等，2007；魏淑花等，2013)，有关该害虫的发育起点温度、有效积温等基础生态学特性的研究仅见田畴和金桂兰(1987) 在室温条件下对其蛹、成虫和卵进行了初步的研究，而对其田间为害严重的幼虫未见报道，但是该研究整个实验过程在室温条件下进行，每个虫态温差在5℃范围内，可能忽略了低温对昆虫停育的影响，高估昆虫的发育速率，从而高估了昆虫的发育起点温度。因此，本文系统研究5 个梯度温度(13，18，23，28 和33℃)下沙蒿金叶甲的发育历期、存活、成虫寿命和雌虫产卵等生物学指标，并计算出沙蒿金叶甲各个虫态的发育起点温度和有效积温，为深入探讨沙蒿金叶甲的生物学、生态学特性，丰富我国西北荒漠草原沙蒿金叶甲测报参数，优化其测报预警技术提供依据。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

沙蒿金叶甲成虫采自盐池县冯记沟沙蒿分布区，在室内用盆栽植有沙蒿饲养，盆外罩有圆柱形纱笼(ϕ×h＝28 cm×50 cm)，成虫产卵期放入洗净带根的禾本科植物为其提供产卵场所，饲养2～3 个月，让其交配产卵以供实验所用。

1.2　饲养设备

RXZ 型智能人工气候箱(宁波东南仪器有限公司)和GXZ 型智能光照培养箱(宁波东南仪器有限公司)，温度波动范围 ±0.5℃，箱内相对湿度为50%±10%，光周期12L∶12D。

1.3　饲养和观察方法

设13℃，18℃，23℃，28℃和33℃等5 个温度处理。将刚产的卵粒放入培养皿(ϕ＝9 cm)中，分别在设定温度的人工气候箱中饲养。每日16:00 定时观察一次，记录虫态和死亡数。

卵饲养：在培养皿底部铺一层滤纸，放一吸水的脱脂棉球保湿，每处理90～110 粒卵，盖好培养皿盖，每一处理设5 个重复。每日16:00 定时观察一次，记录卵的孵化数和死亡数。

幼虫饲养：幼虫孵出即开始饲喂新鲜沙蒿。幼虫单头单皿饲养，每处理69～89 皿，5 个重复，皿底四分之一铺有一层滤纸，用滴管滴适量水均匀浸湿，接入1 头沙蒿金叶甲初孵幼虫，放入足量新鲜沙蒿，放入相应温度人工气候箱内饲养。定期更换滤纸、棉球，清理皿内的枯枝和粪便。每日16:00 定时观察一次，记录各龄幼虫的蜕皮时间和次数，死亡时间。发育到4 龄幼虫随即将其移到圆柱形养虫瓶(ϕ×h＝8 cm×12 cm)内饲养，瓶内装有湿度为15%的沙土，深度4 cm，供其4 龄幼虫入土化蛹。土中插有新鲜沙蒿供其食用。

成虫饲养：羽化出土的沙蒿金叶甲成虫配对后饲喂新鲜沙蒿，一对一皿，每处理11～48 皿，5 个重复，皿底四分之一铺有一层滤纸，用滴管滴适量水均匀浸湿，放入足量新鲜沙蒿，放入相应温度人工气候箱内饲养。每日16:00 定时观察一次，记录成虫交尾，产卵时间、产卵数量，死亡时间和虫数。观察完毕后喂以新鲜沙蒿，成虫完全死亡后，实验结束。

1.4　发育起点温度和有效积温计算

发育起点温度 C 和有效积温 K 的计算采用直线回归法(张孝羲，2002)和直接最优法(李典谟和王莽莽，1986)。

1.4.1　直线回归法：先将不同温度下各虫态(龄)的发育历期进行加权平均，成虫期的发育历期为羽化出土到死亡，求出各虫态(龄)的平均发育历期 D，将其换算成相应温度下的平均发育速率 V($V = 1/D$)，然后根据张孝羲(2002)提出的公式计算出沙蒿金叶甲各虫态(龄)的发育起点温度 C 和有效积温 K 及其标准差 S_C 和 S_K，并依据有效积温法则，运用唐启义和冯明光(2007)的DPS 统计软件建立发育速率 V 与环境温度 T 的直线回归方程、逻

辑斯蒂回归方程和二次回归方程，并进行回归分析。

1.4.2 直接最优法：先将不同温度下各虫态（龄）的发育历期进行加权平均，求出各虫态（龄）的平均发育历期，根据李典谟和王莽莽（1986）提出的公式计算发育起点温度 C 和有效积温 K 。

1.4.3 两种算法的比较：为了比较直线回归法和直接最优法两种计算方法所得结果的优劣，以不同方法计算出的发育起点温度 C 为依据，根据方差 S^2 大小来计算变异系数 CV（郭慧玲和孙绪艮，2000；杜艳丽等，2012）。

1.5 数据统计与分析

每个虫态（龄）的存活率都以发育到该虫态（龄）的数量为基数，与发育到下一虫态（龄）的数量相比较，计算该虫态（龄）的存活率。世代存活率则以供试卵数为基数，将羽化为成虫的数量与其相比较来计算。

不同温度间沙蒿金叶甲发育历期、发育速率、成虫寿命及单雌产卵量等所有差异显著性分析，均采用 Duncan 氏新复极差法，运用上述 DPS 统计软件进行多重比较分析（$P<0.05$）。

2 结果与分析

2.1 温度对沙蒿金叶甲各虫态（龄）生长发育历期的影响

观察结果（表 1）表明：在室内饲养条件下，沙蒿金叶甲在 5 个温度下进入 4 龄幼虫后均随即入土化蛹，因此，不同温度下均无 4 龄幼虫的发育历期，幼虫期仅包括了 1－3 龄幼虫，将 4 龄幼虫与蛹期合算。在 13～28℃的温度范围内，沙蒿金叶甲均能完成发育，且发育历期随温度的上升而缩短，各处理间差异显著。13℃恒温条件下，各虫态发育历期最长；28℃时各虫态发育历期最短。在温度相差 15℃的情况下，13℃沙蒿金叶甲卵及各龄幼虫的发育历期是 33℃的 1.86～4.62 倍。当温度为 33℃时，沙蒿金叶甲可由卵正常发育至 4 龄幼虫，进入 4 龄后随即入土，入土后一部分不能化蛹而死亡，一部分化蛹后不能羽化而死亡，即不能完成发育；虽然卵期比其他温度下发育历期短并达到显著差异水平，但 1，2 和 3 龄及 1－3 龄幼虫期的发育历期显著高于 23℃和 28℃下。

表 1 不同温度下沙蒿金叶甲不同虫态的发育历期（d）

Table 1 Developmental duration (d) of *Chrysolina aeruginosa* at different temperatures

温度（℃）Temperature	卵 Egg	1－3 龄幼虫 1st to 3rd larva				4 龄幼虫＋蛹 4th instar larva + Pupa
		1 龄 1st instar	2 龄 2nd instar	3 龄 3rd instar	总计 Total	
13	23.58±1.09 A	12.72±0.28 A	12.41±0.27 A	12.56±0.27 A	37.69±0.52 A	94.21±0.84 A
18	19.35±0.53 B	10.61±0.23 B	10.25±0.23 B	10.37±0.23 B	31.23±0.35 B	59.64±2.02 B
23	9.77±0.23 C	7.96±0.89 C	8.15±0.36 C	7.94±0.27 C	24.05±0.99 C	26.58±2.20 C
28	5.55±0.06 D	6.63±0.27 C	6.66±0.14 D	6.53±0.23 D	19.82±0.37 D	24.20±3.00 C
33	4.64±0.33 D	11.17±1.05 B	10.97±0.73 B	10.74±0.31 B	32.88±1.09 B	–

同列数据后不同字母表示差异显著（新复极差法，$P<0.05$）；下表同。Values in the same column followed by different letters are significantly different at the 0.05 level by Duncan's multiple range test. The same for the following tables.

2.2 沙蒿金叶甲不同虫态的发育起点温度和有效积温

沙蒿金叶甲各虫态（龄）发育起点温度和有效积温的计算结果见表 2。从两种算法的变异系数来看，用直接最优法计算发育起点温度和有效积温略优于直线回归法。以直接最优法计算结果为例，各虫态中卵的发育起点温度最高，为 9.72℃；1－3 龄幼虫期最低，为 7.11℃；4 龄幼虫＋蛹期发育所需要的有效积温最高，为 448.40 日·度；卵最低，为 115.36日·度。在沙蒿金叶甲幼虫各发育阶段，3 龄幼虫的发育起点温度最低，为 5.99℃；2 龄幼虫次之，为 7.34℃；1 龄幼虫最高，为 8.06℃；3 龄幼虫完成发育所需要的有效积温最高，为 156.34 日·度；2 龄幼虫次之，为 145.26 日·度；1 龄幼虫最低，为 139.57 日·度。

分别利用逻辑斯蒂模型、二次多项式模型和线性回归模型对沙蒿金叶甲卵在 13～33℃条件下和其他虫态在 13～28℃条件下的发育速率与温度的

线性关系进行了拟合分析，结果见表 3。从决定系数来看，虽然各虫态发育速率与温度的逻辑斯蒂回归模型和二次回归模型的决定系数均大于线性回归模型的决定系数，但逻辑斯蒂回归模型和二次回归模型的决定系数除卵期和 2 龄幼虫达显著水平外其他虫态均未达到，而各个虫态的线性回归模型的决定系数除蛹期达到显著水平外其他虫态均达到极显著水平。说明 13 ~28℃条件下，线性模型能较好地拟合二者之间的关系。

表 2　沙蒿金叶甲各发育阶段发育起点温度和有效积温

Table 2　Developmental threshold temperature and effective accumulated temperature in different stages of *Chrysolina aeruginosa*

发育阶段 Developmental stage	直线回归法 Linear regression method			直接最优法 Direct optimal method		
	发育起点温度(℃) Developmental threshold temperature	有效积温(日·度) Effective accumulated temperature (degree-day)	变异系数(%) Coefficient of variance (*CV*)	发育起点温度(℃) Developmental threshold temperature	有效积温(日·度) Effective accumulated temperature (degree-day)	变异系数(%) Coefficient of variance (*CV*)
卵 Egg	11.15 ±2.04	100.04 ±13.29	34.44	9.72	115.36	27.09
1 –3 龄幼虫 1st to 3rd instar larva	10.40 ±4.03	348.02 ±20.63	48.33	7.11	441.91	40.06
1 龄幼虫 1st instar larva	11.06 ±3.99	110.84 ±11.82	54.36	8.06	139.57	38.71
2 龄幼虫 2nd instar larva	10.24 ±4.11	117.67 ±12.17	47.23	7.34	145.26	39.21
3 龄幼虫 3rd instar larva	9.92 ±3.40	119.32 ±11.74	36.09	5.99	156.34	29.03
4 龄幼虫 + 蛹 4th instar larva + Pupa	9.63 ±2.68	409.07 ±82.76	20.46	8.77	448.40	17.33

表 3　沙蒿金叶甲各虫态(龄)发育速率与温度的预测模型

Table 3　Forecast models of developmental rates of *Chrysolina aeruginosa* at different temperatures

发育阶段 Developmental stage	逻辑斯蒂模型 Logistic model		二次回归模型 Quadratic regression model		线性回归模型 Linear regression model	
	方程 Equation	决定系数 R^2 Determination coefficient	方程 Equation	决定系数 R^2 Determination coefficient	方程 Equation	决定系数 R^2 Determination coefficient
卵 Egg	$V = 0.2804/(1 + e^{4.4155-0.1728T})$	0.9815 *	$V = 0.0002T^2 - 0.0009T + 0.0086$	0.9686 *	$V = 0.0095T - 0.0999$	0.9497 **
1 –3 龄幼虫 1st to 3rd instar larva	$V = \frac{0.2687}{(1 + e^{2.8902-0.05118T})}$	0.9963	$V = 0.00003T^2 + 0.0002T + 0.0175$	0.9967	$V = 0.0016T + 0.0043$	0.9881 **
1 龄幼虫 1st instar larva	$V = \frac{0.4910}{(1 + e^{2.4397-0.0583T})}$	0.9923	$V = 0.00009T^2 + 0.0010T + 0.0478$	0.9924	$V = 0.0050T + 0.0107$	0.9851 **
2 龄幼虫 2nd instar larva	$V = \frac{14.9915}{(1 + e^{5.7789-0.0424T})}$	0.9991 *	$V = 0.0001T^2 + 0.0004T + 0.0576$	0.9994 *	$V = 0.0047T + 0.0168$	0.9895 **
3 龄幼虫 3rd instar larva	$V = \frac{0.7323}{(1 + e^{2.8084-0.0529T})}$	0.9961	$V = 0.0001T^2 + 0.0007T + 0.0516$	0.9964	$V = 0.0050T + 0.0112$	0.9879 **
4 龄幼虫 + 蛹 4th instar larva + Pupa	$V = \frac{0.0466}{(1 + e^{5.1077-0.2642T})}$	0.9561	$V = -0.00002T^2 + 0.0033T - 0.0293$	0.9265	$V = 0.0023T - 0.0197$	0.9243 *

2.3 温度对沙蒿金叶甲种群存活率的影响

不同温度下沙蒿金叶甲卵、各龄幼虫、蛹及世代的存活率见表4。可以看出，温度对沙蒿金叶甲的存活率有显著影响，温度过低或过高均不利于沙蒿金叶甲的存活。低温对卵的存活率影响最大，13℃时卵的孵化率最低，只有67.92%；而高温对蛹的存活率影响最大，33℃时不能羽化为成虫，28℃时羽化率也仅为9.62%；卵对温度的适应范围最广，在13～33℃的温度范围内，其存活率均在67.92%以上。就沙蒿金叶甲世代存活率而言，23℃时的存活率最高，达到66.67%，其次为18℃，存活率为40.74%，28℃时存活率最低，仅为5.00%。由此可见，沙蒿金叶甲的最适发育温度范围为18～23℃，高温、低温均不利于沙蒿金叶甲的生长发育。

表4 不同温度下沙蒿金叶甲各虫态的存活率(%)

Table 4 Survival rates (%) of *Chrysolina aeruginosa* at different temperatures

发育阶段 Developmental stage	13℃	18℃	23℃	28℃	33℃
卵 Egg	67.92	80.56	89.90	90.00	70.83
1-3 龄幼虫 1st to 3rd instar larva	56.48	58.33	85.56	52.00	12.26
1 龄幼虫 1st instar larva	78.16	91.18	96.63	74.44	27.78
2 龄幼虫 2nd instar larva	98.84	98.53	96.77	85.07	80.00
3 龄幼虫 3rd instar larva	100.00	91.23	93.33	91.04	81.25
4 龄幼虫+蛹 4th instar larva + Pupa	77.65	72.13	48.21	9.62	-
全世代 Generation	28.13	40.74	66.67	5.00	-

2.4 温度对沙蒿金叶甲成虫寿命和繁殖力的影响

不同温度对沙蒿金叶甲成虫寿命及产卵量的影响见表5。在本实验所设置的温度范围内，成虫寿命在13～23℃下随温度的升高而延长，23℃时成虫寿命最长，为50.28 d。而在28℃下成虫寿命明显缩短，仅为20.10 d。单雌平均产卵量在13℃时最低，仅有143.25粒，而28℃时单雌平均产卵量最大，达到237.30粒，是13℃时产卵量的1.66倍。各温度处理间的单雌平均产卵量存在极显著差异(表5)。

表5 不同温度对沙蒿金叶甲成虫寿命及产卵量的影响

Table 5 Adult longevity and number of eggs laid by adults of *Chrysolina aeruginosa* at different temperatures

温度(℃) Temperature	寿命(d) Life expectancy	单雌产卵量(粒) Number of eggs laid per female
13	32.27±1.87 C	143.25±4.89 D
18	38.65±0.79 B	156.75±2.89 C
23	50.28±0.91 A	192.75±3.42 B
28	20.10±1.60 D	237.60±3.78 A

3 讨论

温度是影响昆虫种群生长发育的一个重要因素，在适合生长发育的温度范围内，随着温度升高，昆虫的发育速率加快，发育历期缩短(罗智心等，2009)。本实验中，在13℃～28℃的温度范围内，沙蒿金叶甲各虫态的发育历期均随温度升高而缩短，发育速率与温度呈显著正相关；而33℃时，各龄幼虫历期均较18℃～28℃时有所延长，且4龄幼虫入土后，一部分不能化蛹而死亡，一部分化蛹后不能羽化而死亡，不能完成发育，高温明显抑制了沙蒿金叶甲的生存。然而，本研究也发现，33℃并不抑制沙蒿金叶甲卵的发育，在13～33℃温度范围内，卵的发育速率呈直线加快的趋势，且高温下(33℃)卵的孵化率高于低温(13℃)，证明卵较幼虫和蛹更能耐受高温(杜尧等，2007)，这种不同虫态昆虫对温度的耐受性差异在其他昆虫中也有报道(Ma *et al*., 2004)。

分别利用逻辑斯蒂模型、二次回归模型和线性回归模型分析了沙蒿金叶甲卵在13～33℃条件下和其他虫态在13～28℃条件下的发育速率与温度的线性关系。通过决定系数得出，线性模型能较好地拟合发育速率与温度二者之间的关系。

温度对沙蒿金叶甲的存活率有显著影响，温度过低或过高均不利于沙蒿金叶甲的存活。低温对卵的存活率影响最大，高温对蛹的存活率影响最大，33℃时不能羽化为成虫；卵对温度的适应范围最广，其存活率均在67.92%以上。沙蒿金叶甲世代存活率在23℃时最高，达到66.67%，28℃时的存活率仅为5.00%。由此可见，沙蒿金叶甲的最适发育温度范围为18～23℃，高温、低温均不利于沙蒿金叶甲的生长发育。

不同温度下沙蒿金叶甲成虫寿命及产卵量差异极显著。成虫寿命在13～23℃下随温度的升高而延长，23℃时成虫寿命最长，为50.28 d。单雌平均产卵量28℃下是13℃下产卵量的1.66倍。

本实验研究结果与之前田畴和金桂兰(1987)

研究结果存在差异，本研究计算得到的沙蒿金叶甲各虫态发育起点温度均比田畴和金桂兰(1987)计算得到的低。分析其原因有：第一，本实验是在13，18，23，28和33℃等5个恒温梯度下进行的，而田畴和金桂兰(1987)是在室温条件下进行，基本是在一个温度梯度下进行的，整个实验过程中每个虫态温差在5℃范围内，正如田畴和金桂兰本人所述忽略了低温对昆虫停育的影响，从而高估了昆虫的发育速率，进而高估了昆虫的发育起点温度；第二，本研究通过连续两年田间调查发现，沙蒿金叶甲蛹于每年4月底至5月初开始羽化，沙蒿金叶甲在宁夏的主要分布区盐池高沙窝4月底至5月初的平均温度为13.82℃；沙蒿金叶甲幼虫(1-4龄)10月底在田间仍发生，沙蒿金叶甲在宁夏分布区盐池高沙窝10月底的平均温度为2.97℃(7.82℃)，本研究与田间实际发生情况相符；第三，本实验观察研究了沙蒿金叶甲的整个发育过程，而田畴和金桂兰(1987)仅观察研究了蛹期、成虫期和卵期，未对幼虫期进行观察研究。因此，本研究较全面，并结合田间调查，其结果与沙蒿金叶甲田间实际发生情况相符。

参考文献(References)

Anonymous, 1983. Natural Conditions and Improvement and Utilization in Mu Us Sand Area. Science Press, Beijing. 138-139. [无名氏, 1983. 毛乌素沙区自然条件及其改良利用. 北京：科学出版社. 138-139]

Du Y, Ma CS, Zhao QH, Ma G, Yang HP, 2007. Effects of heat stress on physiological and biochemical mechanisms of insects: a literature review. *Acta Ecologica Sinica*, 27(4): 1565-1572. [杜尧, 马春森, 赵清华, 马罡, 杨和平, 2007. 高温对昆虫影响的生理生化作用机理研究进展. 生态学报, 27(4): 1565-1572]

Du YL, Guo HM, Sun SL, Zhang MZ, Zhang AH, Wang JB, Qin L, 2012. Effects of temperature on the development and reproduction of the yellow peach moth, *Conogethes punctiferalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Entomologica Sinica*, 55(5): 561-569. [杜艳丽, 郭洪梅, 孙淑玲, 张民照, 张爱环, 王金宝, 秦岭, 2012. 温度对桃蛀螟生长发育和繁殖的影响. 昆虫学报, 55(5): 561-569]

Guo HL, Sun XG, 2000. Developmental threshold temperature and effective thermal summation of *Phthanandria atrilineata* Butler. *Entomological Knowledge*, 37(4): 209-211. [郭慧玲, 孙绪艮, 2000. 桑尺蠖的发育起点温度和有效积温. 昆虫知识, 37(4): 209-211]

Li DM, Wang MM, 1986. Study on a method for estimating threshold temperature and effective accumulated temperature. *Entomological Knowledge*, 23(4): 184-187. [李典谟, 王莽莽, 1986. 快速估计发育起点温度及有效积温的研究. 昆虫知识, 23(4): 184-187]

Liu YX, 1992. Flora in Deserts Reipublicae Populorum Sinarum, Vol. 3. Science Press, Beijing. 278-279. [刘媖心, 1992. 中国沙漠植物志(第3卷). 北京：科学出版社. 278-279]

Luo ZX, Ren LL, Qi LY, Zhou SD, Dai HG, 2009. Effects of temperature on the development of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). *Chinese Journal of Ecology*, 28(5): 921-924. [罗智心, 任荔荔, 祁力言, 周曙东, 戴华国, 2009. 温度对桔小实蝇种群发育的影响. 生态学杂志, 28(5): 921-924]

Ma CS, Hau B, Poehling HM, 2004. The effect of heat stress on the survival of the rose grain aphid, *Metopolophium dirhodum* (Hemiptera: Aphididae). *European Journal of Entomology*, 101: 327-331.

Tang QY, Feng MG, 2007. DPS Data Processing System: Experimental Design, Statistical Analysis, and Data Mining. Science Press, Beijing. 515 pp. [唐启义, 冯明光, 2007. DPS数据处理系统：实验设计、统计分析及数据挖掘. 北京：科学出版社. 515页]

Tian C, He DH, Li JY, 1987. Occurrence and control of *Chrysolina aeruginosa* in desert steppe. *Plant Protection*, 13(5): 25-26. [田畴, 贺答汉, 李进跃, 1987. 荒漠草原害虫沙蒿金叶甲的发生与防治. 植物保护, 13(5): 25-26]

Tian C, Jin GL, 1987. Study on threshold temperature and effective accumulated temperature of *Chrysolina aeruginosa*. *Journal of Ningxia Agricultural College*, 8(1): 34-40. [田畴, 金桂兰, 1987. 沙蒿金叶甲发育起点温度和有效积温常数的研究. 宁夏农学院学报, 8(1): 34-40]

Wang QS, 1992. Some advances in studies of *Artemisia ordosica* in China. *Grassland of China*, (2): 74-78. [王庆锁, 1992. 我国油蒿研究的一些进展. 中国草地, (2): 74-78]

Wei SH, Zhu MM, Zhang R, Huang WG, Yu Z, 2013. Morphology and bionomics of *Chrysolina aeruginosa*. *Ningxia Agriculture and Forestry Science*, 54(1): 33-37. [魏淑花, 朱猛蒙, 张蓉, 黄文广, 于钊, 2013. 沙蒿金叶甲形态特征及生物学特性. 宁夏农林科技, 54(4): 33-37]

Zhang XY, 2002. Insect Ecology and Forecast. China Agriculture Press, Beijing. 218-219. [张孝羲, 2002. 昆虫生态及预测预报. 北京：中国农业出版社. 218-219]

Zhang ZK, Yang CX, Gao LY, 2007. Study on the spatial distribution pattern of *Chrysolina aeruginosa* and its sampling technique. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 35(4): 99-104. [张治科, 杨彩霞, 高立原, 2007. 沙蒿金叶甲空间分布型及抽样技术研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 35(4): 99-104]

(责任编辑：袁德成)